

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 4 年 1 月 8 日
Date of Application:

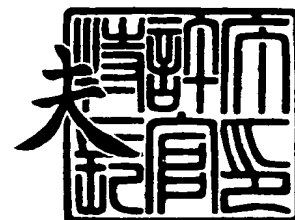
出 願 番 号 特 願 2 0 0 4 - 0 0 3 4 3 5
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 4 - 0 0 3 4 3 5]

出 願 人 T D K 株 式 会 社
Applicant(s):

2 0 0 4 年 2 月 1 9 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 0 1 1 4 5 6

【書類名】 特許願
【整理番号】 99P06619
【提出日】 平成16年 1月 8日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 C22C 19/03
H01F 1/08

【発明者】
 【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 T D K株式会社内
 【氏名】 日▲高▼ 徹也

【発明者】
 【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 T D K株式会社内
 【氏名】 坂元 一也

【発明者】
 【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 T D K株式会社内
 【氏名】 佐藤 和生

【特許出願人】
 【識別番号】 000003067
 【氏名又は名称】 T D K株式会社

【代理人】
 【識別番号】 100100077
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 大場 充

【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 085823
 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

R₂T₁₄B 相（ただし、R は希土類元素の 1 種又は 2 種以上、T は Fe 又は Fe 及び Co を必須とする 1 種又は 2 種以上の遷移金属元素）からなる主相と、
前記主相より R を多く含む粒界相とを備えた焼結体からなり、
P_c（パーミアンス係数）が 2 において、
240 kA/m の有効磁場（ただし、有効磁場＝印加磁場－反磁場）を印加したときの
トータルフラックスを f₁、
400 kA/m の有効磁場を印加したときのトータルフラックスを f₂、
2000 kA/m の有効磁場を印加したときのトータルフラックスを f₃ とすると、
着磁率 a（＝f₁/f₃×100）が 60% 以上、かつ、
着磁率 b（＝f₂/f₃×100）が 85% 以上であることを特徴とする R－T－B 系
希土類永久磁石。

【請求項 2】

保磁力（H_{cJ}）が 1680 kA/m を超えることを特徴とする請求項 1 に記載の R－T－B 系希土類永久磁石。

【請求項 3】

残留磁束密度（B_r）が 1.20 T 以上、最大エネルギー積（（BH）_{max}）が 240 kJ/m³ 以上、角形比（H_k/H_{cJ}）が 90% 以上であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の R－T－B 系希土類永久磁石。

【請求項 4】

前記焼結体中の平均結晶粒径が 3.5～5.0 μm であることを特徴とする請求項 1～3 のいずれかに記載の R－T－B 系希土類永久磁石。

【請求項 5】

前記焼結体中の酸素量が 1500 ppm 以下であることを特徴とする請求項 1～4 のいずれかに記載の R－T－B 系希土類永久磁石。

【請求項 6】

前記焼結体中に Nb が分散していることを特徴とする請求項 1～5 のいずれかに記載の R－T－B 系希土類永久磁石。

【請求項 7】

R：25～35 wt%（ただし、R は希土類元素の 1 種又は 2 種以上）、B：0.5～4.5 wt%、Al 及び Cu の 1 種又は 2 種：0.02～0.5 wt%、Nb：0.2～1.5 wt% 及び Zr：0.03～0.25 wt% の 1 種又は 2 種、Co：2 wt% 以下（0 を含まず）、残部実質的に Fe からなる組成を有する焼結体からなり、
前記焼結体中の酸素量が 2000 ppm 以下、前記焼結体の平均結晶粒径が 3.5～5.0 μm であることを特徴とする R－T－B 系希土類永久磁石。

【請求項 8】

R として 4.0～12.0 wt% の Dy 及び／又は 1.0～6.0 wt% の Tb を含むことを特徴とする請求項 7 に記載の R－T－B 系希土類永久磁石。

【請求項 9】

Nb は前記焼結体の主相及び結晶粒界に分散し、Zr は前記焼結体の結晶粒界に分散していることを特徴とする請求項 7 又は 8 に記載の R－T－B 系希土類永久磁石。

【請求項 10】

多極着磁される磁石であることを特徴とする請求項 7～9 のいずれかに記載の R－T－B 系希土類永久磁石。

【請求項 11】

前記焼結体中の窒素量が 20～600 ppm、炭素量が 1500 ppm 以下であることを特徴とする請求項 7～10 のいずれかに記載の R－T－B 系希土類永久磁石。

【請求項 12】

Ga：0.02～1.5 wt% を含有することを特徴とする請求項 7～11 のいずれかに

記載の R - T - B 系希土類永久磁石。

【書類名】明細書

【発明の名称】R-T-B系希土類永久磁石

【技術分野】

【0001】

本発明は、R-T-B（ただし、Rは希土類元素の1種又は2種以上、TはFe又はFe及びCoを必須とする1種又は2種以上の遷移金属元素）系希土類永久磁石に関し、特に着磁特性の高いR-T-B系希土類永久磁石に関する。

【背景技術】

【0002】

希土類磁石の中でもR-T-B系希土類永久磁石は、磁気特性に優れていること、主成分であるNdが資源的に豊富で比較的安価であることから、各種電気機器に採用されている。

これまで、R-T-B系希土類永久磁石の磁気特性、具体的には残留磁束密度、保磁力あるいは最大エネルギー積の向上のための研究、開発が主になされてきた。しかし、近時、着磁特性に着目した研究、開発が行なわれている。R-T-B系希土類永久磁石は、フェライト磁石に比べて高い着磁磁界を必要とする。例えば、リング状のR-T-B系希土類永久磁石をモータの回転子として用いる場合に、モータにR-T-B系希土類永久磁石を組み込んだ後にリング状のR-T-B系希土類永久磁石に巻き回したモータ用コイルを用いて着磁させることがある。モータが小型の場合には所定の巻き回し数を得るためにコイルの線径が細くなり、大電流を流すことができず、そのためにR-T-B系希土類永久磁石に対して十分な着磁磁界を印加することができない。したがって、以上のような用途に用いられるR-T-B系希土類永久磁石としては、低い着磁磁界で可能な限り高い着磁特性を有することが要求される。

【0003】

例えば、特開2002-356701号公報（特許文献1）には、着磁特性の優れるR-T-B系希土類永久磁石として、主相の平均組成が、 $(\text{LR}_{1-x}\text{HR}_x)_2\text{T}_{14}\text{A}$ （Tは、Fe、又はFeとFe以外の遷移金属元素の少なくとも1種との混合物、Aはボロン又はボロンと炭素との混合物、LRは軽希土類元素の少なくとも1種、HRは重希土類元素の少なくとも1種、 $0 < x < 1$ ）で表される希土類合金焼結体であって、 $(\text{LR}_{1-p}\text{HR}_p)_2\text{T}_{14}\text{A}$ （ $0 \leq p < x$ ）で表される組成の第1の主相と、 $(\text{LR}_{1-q}\text{HR}_q)_2\text{T}_{14}\text{A}$ （ $x < q \leq 1$ ）で表される組成の第2の主相との少なくとも一方を複数有する結晶粒を含んでいる希土類合金焼結体が開示されている。

【0004】

また、特開2003-217918号公報（特許文献2）には、着磁特性の向上を目的として、重量%で、R（RはYを含む希土類元素の少なくとも1種であり、Rに占めるNdが50原子%以上である）：25～35%、B：0.8～1.5%、必要によりM（Ti、Cr、Ga、Mn、Co、Ni、Cu、Zn、Nb、Alから選ばれる少なくとも1種）：8%以下、及び残部T（Fe又はFe及びCo）、ならびに不可避的不純物を含有し、80at%以上を $\text{Fe}_A\text{Co}_{1-A}$ とするFe相が $0.01 \sim 300 \mu\text{m}$ の大きさで焼結体中に残存している結晶組織を有する希土類焼結磁石において、残留磁束密度で評価される着磁率 B_r （ 0.2 MA/m ）／ B_r （ 2.0 MA/m ）が59%以上、フラックスで評価される着磁率 Φ （ 0.3 MA/m ）／ Φ （ 4.0 MA/m ）が4%以上であることが開示されている。

【0005】

【特許文献1】特開2002-356701号公報

【特許文献2】特開2003-217918号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献1に開示された技術によれば、磁気特性を低下させることなく着磁特性を改善

することができる。しかし、50%程度の着磁率を得るために0.8 MA/m (10 kOe) 程度の着磁磁界が必要であり、さらに低い着磁磁界で50%程度の着磁率を得ることが望まれる。また、特許文献2における残留磁束密度で評価される着磁率 B_r (0.2 MA/m) / B_r (2.0 MA/m) が59%以上、フラックスで評価される着磁率 Φ (0.3 MA/m) / Φ (4.0 MA/m) が4%以上という値は、着磁特性が良いとはいえない。

【0007】

一方で、本発明者等の検討によると、低い磁界でより高い着磁率が得られる R-T-B 系希土類永久磁石は、着磁率の着磁磁界による変動を表す着磁特性曲線がなだらかな傾斜を示す傾向にある。つまり、着磁率特性曲線が緩やかなため100%近傍の着磁率に到達するまでに、より大きな着磁磁界が必要であった。

本発明は、このような技術的課題に基づいてなされたもので、低い着磁磁界でより高い着磁率を得るとともに、100%近傍、例えば90%程度の着磁率に到達するまで、より着磁率の立ち上がり早い R-T-B 系希土類永久磁石を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

かかる目的のもと、本発明者は $R_2T_{14}B$ 相からなる主相と、主相より R を多く含む粒界相とを備えた焼結体からなる磁石について検討を行なった。その結果、重希土類元素を多く含むことにより保磁力の高いタイプの R-T-B 系希土類永久磁石において、焼結体の平均結晶粒径及び含有酸素量を制御すること、さらには Nb 等の元素を含有させることにより、従来になかった優れた着磁特性が得られることを確認した。

すなわち本発明の R-T-B 系希土類永久磁石は、 $R_2T_{14}B$ 相 (ただし、R は希土類元素の1種又は2種以上、T は Fe 又は Fe 及び Co を必須とする1種又は2種以上の遷移金属元素。以下同じ。) からなる主相と、主相より R を多く含む粒界相とを備えた焼結体からなり、Pc (パーミアンス係数) が2において、240 kA/m の有効磁場 (ただし、有効磁場 = 印加磁場 - 反磁場) を印加したときのトータルフラックスを f_1 、400 kA/m の有効磁場を印加したときのトータルフラックスを f_2 、2000 kA/m の有効磁場を印加したときのトータルフラックスを f_3 とすると、着磁率 a ($= f_1 / f_3 \times 100$) が60%以上、かつ、着磁率 b ($= f_2 / f_3 \times 100$) が85%以上の着磁特性を有していることを特徴としている。

本発明の R-T-B 系希土類永久磁石は、Pc が0.5において、着磁率 a が40%以上で、かつ、着磁率 b が70%以上であり、さらに Pc が1において、着磁率 a が55%以上で、かつ、着磁率 b が80%以上という高い着磁特性を実現することができる。

【0009】

ところで従来から、R-T-B 系希土類永久磁石は、高い保磁力を得ようとする場合には残留磁束密度が低くなり、逆に高い残留磁束密度を得ようとする場合には保磁力が低くなることが知られている。例えば、希土類元素として含有される Dy の量を調整すること、具体的には高保磁力を得たいときには Dy 量を増やし、高残留磁束密度を得たいときには Dy 量を減らすことにより、所望する特性を得ていた。そして、高い保磁力を有するタイプの R-T-B 系希土類永久磁石は高い着磁特性が得られることは概念的には知られていた。そのため、高保磁力タイプの R-T-B 系希土類永久磁石においては、それ以上の高い着磁特性を追求することが行われていなかった。ところが、本発明によると、保磁力 (H_cJ) が1680 kA/m (21 Oe)、さらには2000 kA/m (25 Oe) を超える高保磁力タイプにおいても低い着磁磁界における着磁特性を向上させることができるという利点がある。この R-T-B 系希土類永久磁石は、残留磁束密度 (B_r) が1.20 T 以上、最大エネルギー積 ($(BH)_{max}$) が240 kJ/m³ 以上、角形比 (H_k / H_cJ) が90%以上の特性を確保することができる。

【0010】

本発明の R-T-B 系希土類永久磁石において、焼結体中の酸素量が1500 ppm 以下であること、焼結体中の平均結晶粒径が3.5 ~ 5.0 μ m であることが、以上の優れ

た着磁特性を得るために重要である。さらに、焼結体中にNbが分散していることが、以上の優れた着磁特性を得るために重要である。

【0011】

本発明は、R: 25~35wt%、B: 0.5~4.5wt%、Al及びCuの1種又は2種: 0.02~0.5wt%、Nb: 0.2~1.5wt%及びZr: 0.03~0.25wt%の1種又は2種、Co: 2wt%以下(0を含まず)、残部実質的にFeからなる組成を有する焼結体からなるR-T-B系希土類永久磁石に適用することが望ましい。また、保磁力や温度特性の向上、生産性の向上、低コスト化などのためにTi、V、Cr、Mn、Bi、Ta、Mo、W、Sb、Ge、Sn、Ni、Si、Hf、Ga等を1種以上添加してもよい。この中でGaは着磁特性向上にとって有効であり、0.02~1.5wt%、さらには0.1~1wt%の範囲で添加することが望ましい。

このR-T-B系希土類永久磁石において、焼結体中の酸素量を2000ppm以下、焼結体の平均結晶粒径を3.5~5.0 μ mとすることにより、優れた着磁特性を得ることができる。

【0012】

本発明によるR-T-B系希土類永久磁石は、Rとして4.0~12.0wt%のDyを含むことができる。また、Rとして1.0~6.0wt%のTbを含むことができる。Dy及びTbは単独又は複合で含むことができることはいうまでもない。

また、本発明によるR-T-B系希土類永久磁石にNbを含む場合、このNbは焼結体中の主相(R₂T₁₄B相)及び結晶粒界に分散する。また、R-T-B系希土類永久磁石にZrを含む場合、このZrは焼結体中の結晶粒界に分散する。

本発明によるR-T-B系希土類永久磁石は、種々の形態の磁石に用いることができるが、多極着磁される磁石に用いた場合にその効果を顕著に発揮することができる。

本発明によるR-T-B系希土類永久磁石は、高い磁気特性を有するためには、焼結体中の窒素量を20~600ppm、炭素量を1500ppm以下に規制することが望ましい。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、400kA/m(5kOe)程度の低い着磁磁界での着磁率が向上されるとともに、800kA/m(10kOe)以上の着磁磁界における着磁率も向上されたR-T-B系希土類永久磁石を提供する。このような着磁特性に優れたR-T-B系希土類永久磁石は、多極着磁磁石に用いた場合には、ニュートラルゾーンの幅を狭くすることができる。このようなリング磁石を用いたモータは、高い回転性能を保持することができる。また、着磁率の高い磁石は、材質的に高コストで高磁気特性であるが着磁率の低い磁石に比べて、実際に発生するトータルフラックスが多い場合がある。したがって、本発明は、所定のトータルフラックスを低コストの磁石で実現することができる。または磁石のサイズを小型化することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

以下、本発明によるR-T-B系希土類永久磁石及びその製造方法について詳細に説明する。

<着磁特性>

本発明によって得られるR-T-B系希土類永久磁石は、よく知られているように、R₂T₁₄B結晶粒(Rは希土類元素の1種又は2種以上、TはFe又はFe及びCoを主体とする遷移金属元素の1種以上)からなる主相と、この主相よりRを多く含む粒界相とを少なくとも含んでいる。

そして、Pc(パーミアンス係数)が2において、240kA/mの有効磁場(ただし、有効磁場=印加磁場-反磁場)を印加したときのトータルフラックスをf₁、400kA/mの有効磁場を印加したときのトータルフラックスをf₂、2000kA/mの有効磁場を印加したときのトータルフラックスをf₃とすると、着磁率a(=f₁/f₃×1

00) が60%以上、かつ、着磁率 $b (= f_2 / f_3 \times 100)$ が85%以上である。さらに、本発明のR-T-B系希土類永久磁石は、800 kA/mの有効磁場を印加したときのトータルフラックスを f_4 とすると、着磁率 $c (= f_4 / f_3 \times 100)$ が95%以上となり、極めて着磁率が高い。なお、本発明における P_c は、「希土類永久磁石」俵好夫、大橋健共著(森北出版)第146頁の図5-4に基づいて定めている。また、着磁率は以下によって測定した。評価する磁石をポールピースに挟み込んで閉磁路を形成した後、電磁石に電流を流し着磁を行なった。この場合、印加磁場=有効磁場となる。着磁後、フラックスメータによりトータルフラックスを測定した。

【0015】

ここで着磁特性についていえば、前述したように、低磁界でより大きな着磁率を有し、かつ着磁率の立ち上がり急峻であることが理想的である。ところが、従来、この両者を満足することは容易ではなかった。しかるに、本発明は、着磁率 $a (= f_1 / f_3 \times 100)$ が60%以上、かつ、着磁率 $b (= f_2 / f_3 \times 100)$ が85%以上、さらには着磁率 $c (= f_4 / f_3 \times 100)$ が95%以上という、従来にはない低磁界で高着磁率で、かつ着磁率の立ち上がりの早いR-T-B系希土類永久磁石を提供する。

【0016】

以上の着磁特性を得るためには、焼結体の結晶粒が平均粒径で3.5~5.0 μm という限られた範囲にあることが重要である。後述する第1実施例で説明するように、結晶粒の平均粒径が3.5 μm 未満あるいは5.0 μm を超えると、上述した着磁率 a 、着磁率 b を得ることができない。

また、以上の着磁特性を得るための組成的な要因としては、焼結体中の酸素含有量を規制すること、さらにNb及びZrの1種又は2種を含むことが掲げられる。この点については、以下の<化学組成>の欄で述べることにする。

【0017】

<化学組成>

次に、本発明によるR-T-B系希土類永久磁石の望ましい化学組成について説明する。ここでいう化学組成は焼結後における最終組成をいう。

本発明のR-T-B系希土類永久磁石は、希土類元素(R)を25~35wt%含有する。

ここで、本発明におけるRはYを含む概念を有しており、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Yb、Lu及びYの1種又は2種以上である。Rの量が25wt%未満であると、R-T-B系希土類永久磁石の主相となる $R_2T_{14}B$ 結晶粒の生成が十分ではなく軟磁性を持つ $\alpha\text{-Fe}$ などが析出し、保磁力が著しく低下する。一方、Rの量が35wt%を超えると主相である $R_2T_{14}B$ 結晶粒の体積比率が低下し、残留磁束密度が低下する。またRが酸素と反応し、含有する酸素量が増え、これに伴い保磁力発生に有効なR-リッチ相が減少し、保磁力の低下を招く。したがって、Rの量は25~35wt%とする。望ましいRの量は28~33wt%、さらに望ましいRの量は29~32wt%である。

Ndは資源的に豊富で比較的安価であることから、希土類元素としての主成分をNdとすることが好ましい。また、Dy及びTbは保磁力を向上させる上で有効である。よって、希土類元素としてNd及びDyを選択し、NdとDy及び/又はTbの合計を25~35wt%とすることが望ましい。Dy及びTbは、残留磁束密度及び保磁力のいずれを重視するかによって上記範囲内においてその量を定めることが望ましい。つまり、高い保磁力を得たい場合にはDy量を4.0~12.0wt%、Tb量を1.0~6.0wt%とすることが望ましい。なお、保磁力向上の効果はTbがDyよりも高く、Tbは同じ量を含む場合にDyの2倍程度の保磁力向上効果を発揮する。

【0018】

本発明は、前述したように、保磁力が比較的高いタイプのR-T-B系希土類永久磁石においても優れた着磁特性を有している点に特徴がある。したがって、Dy及び/又はTbが上述した範囲にある場合に本発明の効果が十分発揮することができる。その場合の保磁力

(HcJ)は1680kA/mを超え、また1750kA/m以上、さらには2000kA/m以上となる。

【0019】

また、本発明のR-T-B系希土類永久磁石は、ホウ素(B)を0.5~4.5wt%含有する。Bが0.5wt%未満の場合には高い保磁力を得ることができない。ただし、Bが4.5wt%を超えると残留磁束密度が低下する傾向がある。したがって、上限を4.5wt%とする。望ましいBの量は0.5~1.5wt%、さらに望ましいBの量は0.8~1.2wt%である。

【0020】

本発明のR-T-B系希土類永久磁石は、Al及びCuの1種又は2種を0.02~0.5wt%の範囲で含有することができる。この範囲でAl及びCuの1種又は2種を含有させることにより、得られるR-T-B系希土類永久磁石の高保磁力化、温度特性の改善が可能となる。Alを添加する場合において、望ましいAlの量は0.03~0.3wt%、さらに望ましいAlの量は0.05~0.25wt%である。また、Cuを添加する場合において、望ましいCuの量は0.15wt%以下(0を含まず)、さらに望ましいCuの量は0.03~0.08wt%である。

【0021】

本発明のR-T-B系希土類永久磁石は、0.2~1.5wt%のNb及び0.03~0.25wt%のZrの1種又は2種を含有することが望ましい。

Nb及びZrはR-T-B系希土類永久磁石の着磁特性向上を図るために有効である。また、R-T-B系希土類永久磁石の磁気特性を向上するために酸素含有量を低減する際に、焼結過程での結晶粒の異常成長を抑制する効果を発揮し、焼結体の組織を均一かつ微細にする。したがって、Nb及びZrは酸素量が低い場合にその効果が顕著になる。Nbの望ましい量は0.5~1.3wt%、さらに望ましい量は0.5~1.2wt%である。また、Zrの望ましい量は0.05~0.25wt%、さらに望ましい量は0.1~0.2wt%である。

【0022】

本発明のR-T-B系希土類永久磁石は、その酸素量を2000ppm以下とする。酸素量が多いと非磁性成分である酸化物相が増大して、磁気特性を低下させる。そこで本発明では、焼結体中に含まれる酸素量を、2000ppm以下、望ましくは1500ppm以下、さらに望ましくは1000ppm以下とする。ただし、単純に酸素量を低下させたのでは、粒成長抑制効果を有していた酸化物相の量が不足し、焼結時に十分な密度上昇を得る過程で異常粒成長が容易に起こる。そこで、本発明では、着磁特性向上効果とともに異常粒成長抑制効果を有するNb及びZrの1種又は2種を所定量添加する。

【0023】

本発明のR-T-B系希土類永久磁石は、Coを2wt%以下(0を含まず)、望ましくは0.1~1wt%、さらに望ましくは0.3~0.7wt%含有する。Coはキュリー温度の向上、粒界相の耐食性向上に効果がある。

【0024】

<多極着磁磁石>

本発明は、前述したように、多極着磁が施される磁石に適用することが望ましい。

多極着磁される磁石としては、モータ用に用いられるラジアル異方性又は極異方性リング状磁石、CD、DVD等の機器のピックアップ駆動用に用いられる直方体状磁石、VCM(Voice Coil Motor)用の扇状磁石がある。これらの多極着磁磁石は、N・Sの極性を複数有している。

以上の多極着磁磁石に本発明のR-T-B系希土類永久磁石を適用すると、ニュートラルゾーンの幅を狭くすることができる。そのために、トータルフラックス量が増加し、例えばモータに用いるものであればモータの特性を向上させることができる。ここで、ニュートラルゾーンとは、磁石を着磁した際に、極性(N・S)が反転する境界においてN又はSのどちらにも着磁されない領域をいう。特に、サイズの小さな磁石や極数の多い磁石

においては、ニュートラルゾーンの占める割合が増大する。したがって、本発明による着磁特性の優れる R-T-B 系希土類永久磁石を多極着磁に供することにより、ニュートラルゾーンの幅を狭くすることができ、ひいては当該磁石が用いられるモータの特性を向上することができる。

【0025】

<製造方法>

次に、本発明による R-T-B 系希土類永久磁石の好適な製造方法について説明する。

本実施の形態では、単一の原料合金を用いて製造する方法について示す。ただし、本発明による R-T-B 系希土類永久磁石は、 $R_2T_{14}B$ 結晶粒を主体とする合金（低 R 合金）と、低 R 合金より R を多く含む合金（高 R 合金）とを用いる混合法により製造することができることはいうまでもない。

【0026】

はじめに、真空又は不活性ガス、好ましくは Ar 雰囲気中でストリップキャスティングすることにより、所定組成の原料合金を得る。

原料合金が作製された後、原料合金は粉碎される。粉碎工程には、粗粉碎工程と微粉碎工程とがある。まず、原料合金を、それぞれ粒径数百 μm 程度になるまで粗粉碎する。粗粉碎は、スタンプミル、ジョークラッシャー、ブラウンミル等を用い、不活性ガス雰囲気中にて行なうことが望ましい。粗粉碎性を向上させるために、水素を吸蔵させた後、粗粉碎を行なうことが効果的である。

粗粉碎工程後、微粉碎工程に移る。微粉碎は、主にジェットミルが用いられ、粒径数百 μm 程度の粗粉碎粉末が、平均粒径 $2.5 \sim 6 \mu m$ 、好ましくは $3 \sim 5 \mu m$ になるまで行われる。ジェットミルは、高圧の不活性ガス（例えば窒素ガス）を狭いノズルより開放して高速のガス流を発生させ、この高速のガス流により粗粉碎粉末を加速し、粗粉碎粉末同士の衝突やターゲットあるいは容器壁との衝突を発生させて粉碎する方法である。微粉碎時に、ステアリン酸亜鉛等の粉碎助剤を $0.01 \sim 0.3 \text{ wt} \%$ 程度添加することにより、成形時に配向性の高い微粉を得ることができる。

【0027】

次いで、微粉末を磁場印加によってその結晶軸を配向させた状態で磁場中成形する。この磁場中成形は、 $12 \sim 20 \text{ kOe}$ ($960 \sim 1600 \text{ kA/m}$) 前後の磁場中で、 $0.3 \sim 3.0 \text{ t/cm}^2$ ($30 \sim 300 \text{ MPa}$) 前後の圧力で行なえばよい。また、磁場印加方法は前述の他に、パルス印加磁場を用いてもよい。

【0028】

磁場中成形後、その成形体を真空又は不活性ガス雰囲気中で焼結する。焼結温度は、組成、粉碎方法、粒度と粒度分布の違い等、諸条件により調整する必要があるが、 $1000 \sim 1100^\circ\text{C}$ で $1 \sim 5$ 時間程度焼結すればよい。焼結工程の前に成形体に含まれている粉碎助剤、ガスなどを除去する処理を行なってもよい。焼結後、得られた焼結体に時効処理を施すことができる。この工程は、保磁力を制御する重要な工程である。時効処理を 2 段に分けて行なう場合には、 800°C 近傍、 600°C 近傍での所定時間の保持が有効である。 800°C 近傍での熱処理を焼結後に行なうと、保磁力が増大するため、混合法においては特に有効である。また、 600°C 近傍の熱処理で保磁力が大きく増加するため、時効処理を 1 段で行なう場合には、 600°C 近傍の時効処理を施すとよい。

【0029】

以下本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。

<第1実施例>

ストリップキャスト法により、表 1 に示す組成の原料合金を作製した。

得られた各々の原料合金に対して室温にて水素を吸蔵させた後、Ar 雰囲気中で $600^\circ\text{C} \times 1$ 時間の脱水素を行なう、水素粉碎処理を行なった。

高磁気特性を得るべく、本実験では焼結体酸素量を 1000 ppm 以下に抑えるために、水素粉碎（粉碎処理後の回収）から焼結（焼結炉に投入する）までの各工程の雰囲気を 100 ppm 未満の酸素濃度に抑えてある。

【0030】

通常、粗粉碎と微粉碎による2段粉碎を行っているが、本実施例では粗粉碎工程を省いている。

水素粉碎された合金に粉碎助剤としてオレイン酸アミドを0.1%添加し、ジェットミルにて微粉碎を行ない、平均粒径(d) 3.3 μm 、3.7 μm 、4.1 μm 、4.4 μm 、4.8 μm 及び5.3 μm の6種類の微粉末を得た。なお、粒径の測定はレーザ回折式粒度分布計(Malvern Instruments社製Mastersizer)により行なった。

【0031】

得られた微粉末を1320 kA/m (16.5 kOe)の磁場中で加圧成形を行って成形体を得た。成形体の密度は4.2 Mg/m³である。

得られた成形体を真空中において1040℃で4時間焼結した後、急冷した。次いで得られた焼結体に800℃×1時間と530℃×2.5時間(ともにAr雰囲気中)の2段階時効処理を施した。

【0032】

【表1】

	Nd	Pr	Dy	Tb	Co	Cu	Al	B	Nb	Fe
組成1	27.73	-	-	3.58	0.59	0.13	0.25	1.01	0.70	bal.

【0033】

得られたR-T-B系希土類永久磁石についてB-Hトレースにより磁気特性を測定するとともに、焼結体の密度、平均結晶粒径、酸素含有量、窒素含有量及び炭素含有量を測定した。その結果を表2に示す。表2において、dは焼結体の平均結晶粒径、 ρ は焼結体の密度、Brは残留磁束密度、HcJは保磁力、(BH)maxは最大エネルギー積を、Hk/HcJは角形比を示す。なお、角形比(Hk/HcJ)は磁石性能の指標となるものであり、磁気ヒステリシスループの第2象限における角張の度合いを表す。またHkは、磁気ヒステリシスループの第2象限において、磁束密度が残留磁束密度の90%になるときの外部磁界強度である。焼結体の平均結晶粒径は、焼結体の研磨面を簡易偏光顕微鏡(オリンパス光学工業(株)製BX60M)で観察し、それを画像処理装置(旭化成工業(株)製IP-1000)にて評価した。この評価により、粒子面積が得られるので、それを円相当径に換算して結晶粒径とした。

【0034】

表2に示すように、試料1~6のいずれのR-T-B系希土類永久磁石も1.3T以上の残留磁束密度、2000 kA/m以上の保磁力、340 kJ/m³近傍又はそれ以上という最大エネルギー積、90%以上の角形比(Hk/HcJ)を有していることがわかる。また、いずれのR-T-B系希土類永久磁石も酸素量が1000 ppm以下、窒素量が500 ppm以下、炭素量が1000 ppm以下と、不純物量が低いレベルにあることがわかる。

【0035】

【表2】

試料No.	d [μm]	ρ [Mg/m ³]	Br [T]	HcJ [kA/m]	(BH)max [kJ/m ³]	Hk/HcJ [%]	O ₂ [ppm]	N ₂ [ppm]	C [ppm]	備考
1	3.3	7.585	1.319	2205	337.8	90.9	960	450	920	組成1
2	3.7	7.594	1.317	2179	340.1	95.4	840	420	880	
3	4.1	7.589	1.316	2151	341.0	96.0	820	400	900	
4	4.4	7.592	1.316	2138	340.2	94.9	770	370	870	
5	4.8	7.586	1.315	2104	340.6	94.5	780	360	870	
6	5.3	7.581	1.315	2066	339.3	94.0	750	350	890	

【0036】

次に、試料 1～6 の R-T-B 系希土類永久磁石について、着磁率 ($P_c = 2$) を測定した。その結果を表 3 に示す。表 3 に示すように、平均結晶粒径が最も小さい試料 1 ($3.3 \mu\text{m}$) 及び最も大きい試料 5 ($5.3 \mu\text{m}$) の R-T-B 系希土類永久磁石は、 240 kA/m の着磁磁界で 60% 未満の着磁率しか得られないことがわかる。

【0037】

【表 3】

着磁 磁界 (kA/m)	着磁率(%)					
	試料1 ($d=3.3 \mu\text{m}$)	試料2 ($d=3.7 \mu\text{m}$)	試料3 ($d=4.1 \mu\text{m}$)	試料4 ($d=4.4 \mu\text{m}$)	試料5 ($d=4.8 \mu\text{m}$)	試料6 ($d=5.3 \mu\text{m}$)
0	0	0	0	0	0	0
80	9.9	13.3	13.6	13.2	12.8	10.8
160	31.2	37.4	39.1	39.0	37.9	34.3
240	53.2	65.9	68.2	67.4	65.4	57.2
320	73.4	82.5	83.6	83.2	82.8	76.5
400	83.3	88.4	90.0	90.3	88.8	84.2
560	91.2	94.5	95.1	95.2	94.6	92.2
800	95.6	98.1	98.2	97.8	97.9	96.4
1200	99.1	100	100.0	100	100	99.1
1600	100	100	100.0	100	100	100
2000	100	100	100.0	100	100	100

【0038】

以上より、焼結体の平均結晶粒径が $3.5 \sim 5.0 \mu\text{m}$ 、望ましくは $4.0 \sim 4.5 \mu\text{m}$ の範囲とすることにより、 240 kA/m という低い着磁磁界で 60% 以上の着磁率を得ることができるとともに、 400 kA/m という低い着磁磁界で 85% 以上の着磁率を得ることができる。さらに、 800 kA/m の着磁磁界で 95% 以上の着磁率が得られることからわかるように、本発明による R-T-B 系希土類永久磁石は、着磁率の立ち上がりが早い。

【0039】

<第 2 実施例>

表 4 に示す組成の原料合金を用いること及び微粉末を作製する際の粉碎ガス（窒素）中の酸素含有量を制御することによって最終の焼結体の酸素含有量を変動させた以外は第 1 実施例と同様にして 5 種類の R-T-B 系希土類永久磁石（試料 7～11）を得た。得られた R-T-B 系希土類永久磁石について、第 1 実施例と同様に磁気特性等を測定した。その結果を表 5 に示す。

【0040】

表 5 に示すように、試料 7～11 のいずれの R-T-B 系希土類永久磁石も 1.3 T 以上の残留磁束密度、 2300 kA/m 以上の保磁力、 330 kJ/m^3 近傍の最大エネルギー積を有していることがわかる。

【0041】

【表 4】

	[wt%]									
	Nd	Pr	Dy	Tb	Co	Cu	Al	B	Nb	Fe
組成 2	25.53	-	-	4.78	0.59	0.13	0.25	1.01	0.70	bal.

【0042】

【表 5】

試料No.	d [μm]	ρ [Mg/m^3]	Br [T]	HcJ [kA/m]	(BH)max [kJ/m^3]	Hk/HcJ [%]	O ₂ [ppm]	N ₂ [ppm]	C [ppm]	備考
7	4.2	7.598	1.307	2432	332.3	95.8	490	390	810	組成2
8	4.1	7.596	1.307	2440	332.6	97.0	910	370	820	
9	4.1	7.593	1.306	2422	333.5	97.4	1350	340	800	
10	4.1	7.594	1.306	2399	331.7	96.8	1890	300	830	
11	4.0	7.585	1.303	2335	331.5	96.6	2580	180	820	

【0043】

次に、試料7～11のR-T-B系希土類永久磁石について、着磁率 ($P_c = 2$) を測定した。その結果を表6に示す。表6に示すように、焼結体の酸素量が490 ppmと最も低い試料7のR-T-B系希土類永久磁石が低い着磁磁界における着磁率が最も高いことがわかる。また、試料7～10は、240 kA/m (3 kOe) の着磁磁界で70%以上の着磁率、400 kA/m (5 kOe) の着磁磁界で90%以上の着磁率、800 kA/m (10 kOe) の着磁磁界ではほぼ100%の着磁率を得ることができる。これに対して、試料11は240 kA/m (3 kOe) の着磁磁界で60%を超える着磁率を得ることができない。同様に400 kA/m (5 kOe) の着磁磁界における着磁率が85%に達しない。

【0044】

【表 6】

着磁 磁界 (kA/m)	着磁率(%)				
	試料7 (O ₂ =490)	試料8 (O ₂ =910)	試料9 (O ₂ =1350)	試料10 (O ₂ =1890)	試料11 (O ₂ =2580)
0	0	0	0	0	0
80	17.3	16.0	15.4	14.1	11.9
160	56.2	55.7	52.4	49.4	42.1
240	79.1	78.3	75.3	70.2	59.0
320	90.4	89.6	86.2	82.9	76.3
400	94.5	94.3	93.1	91.1	83.4
560	97.6	97.2	96.9	96.5	91.8
800	100	99.1	100	99.1	96.5
1200	100	100	100	100	99.1
1600	100	100	100	100	100
2400	100	100	100	100	100

【0045】

以上のように、着磁率はR-T-B系希土類永久磁石に含まれる酸素の量と関連があり、低い着磁磁界から高い着磁磁界まで着磁率を向上させるためには、酸素含有量は200 ppm以下、望ましくは1500 ppm以下、さらに望ましくは1000 ppm以下とすべきである。

【0046】

<第3実施例>

表7に示す原料合金を用いた以外は第1実施例と同様にして8種類のR-T-B系希土類永久磁石(試料12～19)を得た。得られたR-T-B系希土類永久磁石について、第1実施例と同様に磁気特性等を測定した。その結果を表8に示す。なお、第1実施例における試料1も表7、8に示している。

表8に示すように、M元素を含まない試料12は角形比(H_k/H_{cJ})が93.6%と他の試料に比べて低い。これに対してM元素を含む試料1、13～19は95%を超える角形比(H_k/H_{cJ})を有しており、特にNbを含む試料13、Gaを含む試料17

及びZrとNbを含む試料19の角形比(H_k/H_{cJ})が高くかつ保磁力(H_{cJ})も高いことがわかる。

【0047】

試料12について組織観察を行なったところ、試料12は焼結体中に100μm程度まで異常に成長した結晶粒が観察された。これは、酸素含有量が1000ppm程度と低く、結晶粒成長を抑制していた酸化物の量が低減されたためである。この異常成長した結晶粒の存在が低い角形比の原因と推測される。

試料1、13～19についても同様に組織観察を行なったが、試料12で観察された異常成長した結晶粒は観察されなかった。試料1、13及び19ではNbが主相結晶粒及び粒界相に、また試料14、19ではZrが粒界相に分散していることが確認されており、Nb又はZrが何らかの化合物を形成し、この化合物が結晶粒の異常成長を抑制しているものと解される。

【0048】

【表7】

	Nd	Pr	Dy	Tb	Co	Cu	Al	B	M	Fe
組成1	27.73	-	-	3.58	0.59	0.13	0.25	1.0	Nb=0.7	bal.
組成3	27.85	-	-	3.62	0.57	0.14	0.24	1.0	-	bal.
組成4	27.69	-	-	3.55	0.60	0.13	0.25	1.0	Nb=1.4	bal.
組成5	27.83	-	-	3.58	0.57	0.13	0.25	1.0	Zr=0.15	bal.
組成6	27.78	-	-	3.51	0.59	0.14	0.25	1.0	Ta=0.7	bal.
組成7	27.87	-	-	3.55	0.55	0.13	0.24	1.0	Bi=0.07	bal.
組成8	27.89	-	-	3.5	0.59	0.13	0.23	1.0	Ga=0.5	bal.
組成9	27.74	-	-	3.64	0.55	0.14	0.26	1.0	Sn=0.7	bal.
組成10	27.80	-	-	3.48	0.54	0.13	0.24	1.0	Zr=0.1 Nb=0.2	bal.

【0049】

【表8】

試料	d [μm]	ρ [Mg/m ³]	Br [T]	H _{cJ} [kA/m]	(BH) _{max} [kJ/m ³]	H _k /H _{cJ} [%]	O ₂ [ppm]	N ₂ [ppm]	C [ppm]	備考
1	4.1	7.589	1.316	2151	341.0	96.0	820	400	900	組成1
12	4.3	7.577	1.34	2044	352.5	93.6	1360	370	820	組成3
13	4.0	7.583	1.301	2246	329.4	97.6	1140	390	850	組成4
14	3.9	7.585	1.338	2064	355.4	95.1	950	400	860	組成5
15	4.2	7.579	1.314	2167	339.8	96.5	1010	380	880	組成6
16	4.6	7.582	1.336	2134	353.2	95.9	1220	370	840	組成7
17	4.2	7.576	1.324	2287	345.0	96.2	990	410	850	組成8
18	4.1	7.580	1.321	2196	342.6	95.6	1040	390	880	組成9
19	3.9	7.585	1.331	2144	350.1	97.1	1250	420	840	組成10

【0050】

次に、試料1、試料12～19のR-T-B系希土類永久磁石について、着磁率(P_c=2)を測定した。その結果を表9に示す。なお、試料1の結果についても表9に示してある。表9に示すように、M元素を含まない試料12は240kA/mの着磁磁界で50%以下の着磁率しか得られないのに対して、M元素を含む試料1、13～18は240kA/mの着磁磁界で60%以上の着磁率が得られることがわかる。また、M元素を含まない試料12は400kA/mの着磁磁界で85%以下の着磁率しか得られないのに対して、M元素を含む試料1、13～19は400kA/mの着磁磁界で85%以上の着磁率が得られることがわかる。

【0051】

【表 9】

着磁 磁界 (kA/m)	着磁率(%)								
	試料1 (Nb=0.7)	試料12 —	試料13 (Nb=1.4)	試料14 (Zr=0.15)	試料15 (Ta=0.7)	試料16 (Bi=0.07)	試料17 (Ga=0.5)	試料18 (Sn=0.7)	試料19 Zr=0.1 Nb=0.2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	13.6	9.9	14.5	13.8	12.8	12.4	13.1	13.3	14.7
160	39.1	28.4	40.6	40.2	37.4	36.1	38.6	37.9	41
240	68.2	49.8	68.7	69	64.3	62.2	67.8	68	69.2
320	83.6	71.8	84	84.2	80.4	77.8	83.6	84	84.2
400	90.0	83.5	90.7	91.0	88.4	87.8	90.3	90.3	91
560	94.5	91.2	95.5	95.5	94.1	93.9	95.5	95.5	95.6
800	98.2	94.7	98.2	99.1	97.7	96.9	98.2	98.2	99.1
1600	100.0	98.7	100	100	99.1	99.1	100	100	100
2000	100.0	100	100	100	100	100	100	100	100

【0052】

以上より、M元素は異常粒成長を抑制することにより磁気特性、特に角形比 (H_k/H_cJ) の向上にとって有効な元素であるとともに、着磁特性の向上にとっても有効な元素であることがわかる。特に、Nb、Zr及びGaは磁気特性及び着磁特性の両者を高いレベルにするために有効な元素である。

【0053】

<第4実施例>

表10に示す原料合金を用いた以外は第1実施例と同様にして4種類のR-T-B系希土類永久磁石(試料20~23)を得た。試料20~23について、第1実施例と同様に磁気特性、焼結体の平均結晶粒径等を測定した。その結果を表11に示す。Dy量が多くなるにつれて保磁力 (H_cJ) が高くなる一方、残留磁束密度 (B_r) が低下することがわかる。試料20~23の着磁率 ($P_c=2$) を第1実施例と同様に測定した。その結果を表12に示す。表12に示すように、Dy量が多くなるにつれて着磁率が向上することがわかる。特に、その差異は400 kA/m以下の着磁磁界において顕著である。

【0054】

【表10】

	Nd	Pr	Dy	Tb	Co	Cu	Al	B	Nb	Fe
組成11	26.5	3.1	2.0	—	0.7	0.08	0.25	1.0	—	bal.
組成12	24.2	3.0	4.4	—	0.7	0.08	0.25	1.0	—	bal.
組成13	22.8	2.9	5.8	—	0.7	0.08	0.25	1.0	—	bal.
組成14	20.5	2.9	8.1	—	0.7	0.08	0.25	1.0	—	bal.

【0055】

【表11】

試料	d [μm]	ρ [Mg/m ³]	Br [T]	H _c J [kJ/m ³]	(BH) _{max} [kJ/m ³]	H _k /H _c J [%]	O ₂ [ppm]	N ₂ [ppm]	C [ppm]	備考
20	4.1	7.539	1.383	1196	366.2	97.3	1770	110	790	組成10
21	4.1	7.577	1.301	1698	326.5	96.8	1810	110	820	組成11
22	4.0	7.581	1.262	2015	293.8	97.1	1690	120	770	組成12
23	4.1	7.594	1.201	2435	271.4	97.0	1820	100	770	組成13

【0056】

【表 12】

着磁 磁界 (kA/m)	着磁率(%)			
	試料20 (Dy=2.0)	試料21 (Dy=4.4)	試料22 (Dy=5.8)	試料23 (Dy=8.1)
0	0	0	0	0
80	11.0	12.1	13.5	15.4
160	28.7	35.4	36.9	40.2
240	52.1	62.2	65.4	68.1
320	69.5	78.5	83.1	85
400	83.2	88.2	90.9	93.1
560	92.1	94.7	96.7	98.4
800	97.4	99.1	99.8	100
1600	99.1	100	100	100
2000	100	100	100	100

【0057】

また、試料 20 及び試料 23 から図 1 に示す形状の試験片（厚さ 2.1 mm）を作製するとともに、図 1 に示すようにコの字状に着磁を行なった。なお、着磁条件を以下の 4 条件とした。

800 μ F \times 350 V、800 μ F \times 600 V、800 μ F \times 900 V、800 μ F \times 1500 V

各着磁条件において、図 1 の一点鎖線上のトータルフラックスを測定した。図 2 は、一点鎖線上の位置とトータルフラックス（B）との関係を着磁電圧ごとに示したグラフである。

フル着磁に近い着磁電圧が 1500 V のときには試料 20 及び試料 23 は同等のトータルフラックス（B）を示している。しかし、着磁電圧が 350 V の時には試料 23 は試料 20 の 1.3 倍以上のトータルフラックス（B）を有している。同様に、着磁電圧が 600 V の時には試料 23 は試料 20 の 1.1 倍以上のトータルフラックス（B）を有している。また、着磁電圧が 350 V の場合、極性が反転すべき 3.5 mm の位置近傍の試料 20 及び試料 23 の曲線を比較すると、後者の傾きに比べて前者の傾きが小さく、ニュートラルゾーンの発生を示唆している。

【0058】

以上の結果より、着磁特性の優れた試料を用いることにより、ニュートラルゾーンの幅を小さくすることができるため、アクチュエータに優れた動作特性を与えることができる。

【0059】

<第 5 実施例>

表 13 に示す原料合金を用いた以外は第 1 実施例と同様にして 4 種類の R-T-B 系希土類永久磁石（試料 24～27）を得た。試料 24～27 について、第 1 実施例と同様に磁気特性、焼結体の平均結晶粒径等を測定した。その結果を表 14 に示す。Tb 量が多くなるにつれて保磁力（HcJ）が高くなる一方、残留磁束密度（Br）が低下することがわかる。試料 24～27 の着磁率（Pc=2）を第 1 実施例と同様に測定した。その結果を表 15 に示す。表 15 に示すように、Tb 量が多くなるにつれて着磁率が向上することがわかる。特に、400 kA/m 以下の着磁磁界においてその差異が顕著である。また、第 4 実施例と比較すると、Tb はより少ない含有量で Dy と同等の効果を達成することができる。

【0060】

【表 13】

	Nd	Pr	Dy	Tb	Co	Cu	Al	B	Nb	Fe
組成15	27.3	3.0	—	0.7	0.7	0.08	0.25	1.0	—	bal.
組成16	26.7	3.0	—	1.2	0.7	0.08	0.25	1.0	—	bal.
組成17	24.0	2.9	—	3.6	0.7	0.08	0.25	1.0	—	bal.
組成18	22.6	3.0	—	5.0	0.7	0.08	0.25	1.0	—	bal.

【0061】

【表 14】

試料	d [μm]	ρ [Mg/m ³]	Br [T]	HcJ [kA/m]	(BH)max [kJ/m ³]	Hk/HcJ [%]	O ₂ [ppm]	N ₂ [ppm]	C [ppm]	備考
24	4.1	7.542	1.396	1253	379.2	96.9	1710	130	760	組成15
25	4.2	7.558	1.380	1398	370.4	97.2	1920	120	780	組成16
26	4.0	7.579	1.321	2090	339.5	96.6	1740	130	760	組成17
27	4.3	7.588	1.282	2488	320.1	96.7	1800	110	770	組成18

【0062】

【表 15】

着磁 磁界 (kA/m)	着磁率(%)			
	試料24 (Tb=0.7)	試料25 (Tb=1.2)	試料26 (Tb=3.6)	試料27 (Tb=5.0)
0	0	0	0	0
80	10.2	12.2	13.2	14.7
160	26.7	32.5	36.1	39
240	51.7	60.9	63.4	65.2
320	70.2	76.2	78.9	80.8
400	82.1	85.4	87.0	89.3
560	90.0	92.6	94	95.4
800	95.2	97.1	98.3	99.1
1600	99.1	100	100	100
2000	100	100	100	100

【0063】

<第6実施例>

実施例1の試料2について、 $P_c = 1.0$ 、 0.5 の試料をさらに作製し、第1実施例と同様に着磁率を測定した。その結果を表16に示す。

【0064】

【表 16】

着磁 磁界 (kA/m)	着磁率(%)		
	試料2 ($P_c=2.0$)	試料28 ($P_c=1.0$)	試料29 ($P_c=0.5$)
0	0	0	0
80	13.3	10.4	7.3
160	37.4	31.9	21.8
240	65.9	58.7	44.2
320	82.5	76.3	60.9
400	88.4	84.2	70.8
560	94.5	91.6	81.2
800	98.1	96.3	89.5
1600	100	100	99.1
2000	100	100	100

【0065】

表16に示すように、 P_c が小さくなるにつれて着磁率は低下する傾向にあるが、240 kA/mの着磁磁界において、 $P_c=1.0$ の着磁率が55%以上、 $P_c=0.5$ の着磁率が40%以上と低磁界で高い着磁率を示している。また、400 kA/mの着磁磁界において、 $P_c=1.0$ の着磁率が80%以上、 $P_c=0.5$ の着磁率が70%以上の着磁率を示していることがわかる。

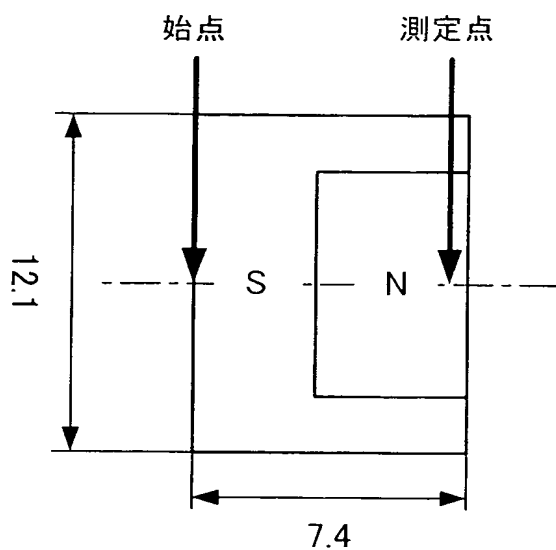
【図面の簡単な説明】

【0066】

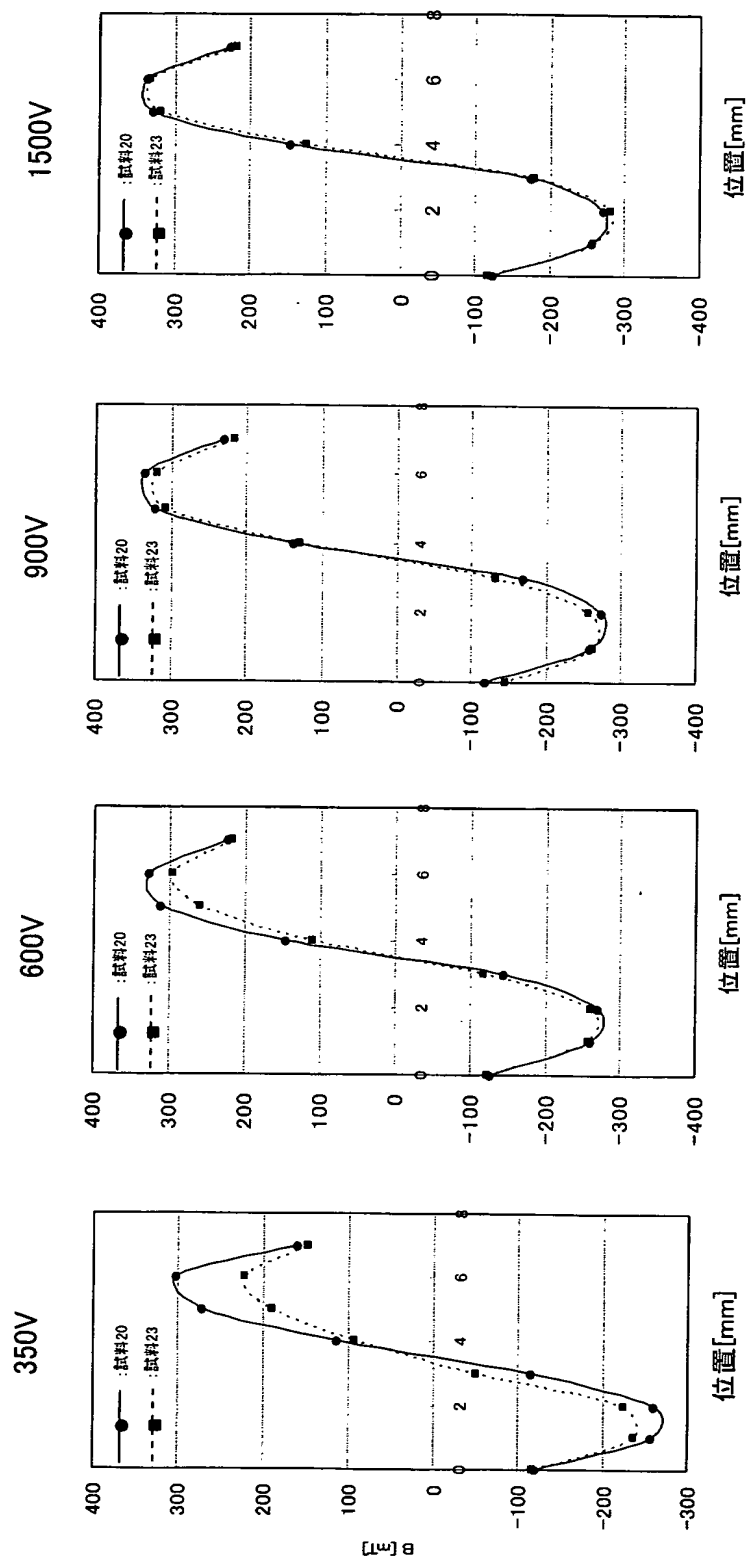
【図1】第4実施例によるR-T-B系希土類永久磁石から作製した試験片の形状を示す平面図である。

【図2】図1の試験片の一点鎖線上の位置とトータルフラックス(B)との関係を着磁電圧ごとに示したグラフである。

【書類名】 図面
【図 1】



【図 2】



【書類名】 要約書**【要約】**

【課題】 低い着磁磁界でより高い着磁率を得るとともに、100%近傍、例えば90%程度の着磁率に到達するまで、より着磁率の立ち上がりが早いR-T-B系希土類永久磁石を提供する。

【解決手段】 重希土類元素を多く含むことにより保磁力の高いタイプのR-T-B系希土類永久磁石において、焼結体の平均結晶粒径及び含有酸素量を制御すること、さらにはNb等の元素を含有させることにより、従来にない優れた着磁特性が得られることを確認した。この着磁特性は、 P_c が2において、240 kA/mの有効磁場を印加したときのトータルフラックスを f_1 、400 kA/mの有効磁場を印加したときのトータルフラックスを f_2 、2000 kA/mの有効磁場を印加したときのトータルフラックスを f_3 とすると、 $f_1/f_3 \times 100$ が60%以上、 $f_2/f_3 \times 100$ が85%以上である。

【選択図】 図2

特願 2 0 0 4 - 0 0 3 4 3 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 3 0 6 7]

1. 変更年月日

2 0 0 3 年 6 月 2 7 日

[変更理由]

名称変更

住 所

東京都中央区日本橋 1 丁目 1 3 番 1 号

氏 名

T D K 株式会社